

# Perancangan Alat Fermentasi Kakao Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno

Anggara Truna Negara, Pembimbing 1: Retnowati, Pembimbing 2: Rahmadwati.

**Abstrak**—Perancangan alat fermentasi kakao otomatis diharapkan dapat mempermudah pekerjaan petani kakao pada saat proses pembalikan dan pengadukan fermentasi kakao berdasarkan suhu yang tepat. Pengendalian kecepatan motor DC yang disesuaikan dengan suhu fermentasi kakao yang tepat pada proses pembalikan atau pengadukan dapat menyempurnakan alat fermentasi kakao konvensional yang masih diputar secara manual.

Digunakan Kontroler PID untuk mengurangi kesalahan, sehingga putaran motor dapat sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Pada skripsi ini digunakan metode kedua dari teori Ziegler-Nichols. Dalam pembuatannya digunakan Arduino Uno, sensor suhu LM35, sensor *rotary encoder*, motor DC.

Dari hasil pengujian kontroler PID pada alat dengan menggunakan metode teori Ziegler-Nichols. Didapatkan parameter PID dengan nilai  $K_p=0,6$ ,  $K_i=0,324$ , dan  $K_d=0,2775$  yang menunjukkan bahwa respons sistem untuk pengendalian kecepatan putaran pada alat fermentasi kakao memiliki *error steady state* sebesar 4,3% serta mengalami *overshoot* kurang dari 70 ms.

**Kata kunci**— Mikrokontroler Arduino Uno, Alat Fermentasi Kakao Otomatis.

## I. PENDAHULUAN

Fermentasi merupakan suatu proses produksi suatu produk dengan mikroba sebagai organisme pemroses. Salah satu tahapan penting dalam penanganan pascapanen kakao adalah proses fermentasi. Fermentasi biji Kakao bertujuan untuk memudahkan pelepasan zat lendir dari permukaan kulit biji dan membentuk cita rasa khas cokelat serta mengurangi rasa pahit dan sepat yang ada dalam biji kakao sehingga menghasilkan biji dengan mutu dan aroma yang baik, serta warna coklat cerah dan bersih.

Dalam fermentasi kakao dibutuhkan beberapa faktor yang diperhatikan agar menghasilkan biji kakao terbaik yaitu suhu, berat kakao, dan waktu yang tepat untuk pengadukan dan pemindahan. Alat fermentasi kakao otomatis ini bekerja berdasarkan prinsip dasar alat fermentasi kakao konvensional sebelumnya pada alat fermentasi kakao konvensional dilakukan dengan menggunakan 2 kotak kayu yang diberi lubang-lubang kecil agar oksigen masuk. Untuk kotak skala kecil diperlukan berat minimal 40 kg dan dalam proses fermentasi suhu dijaga sekitar

45-49 °C lalu dilakukan pemindahan dan pengadukan biji di kotak berikutnya setelah 48 jam (2 hari) atau saat suhu kakao 50°C, proses fermentasi ini berlangsung selama 4-5 hari dengan 1 kali pemindahan dan pengadukan. Sedangkan alat fermentasi kakao otomatis yang akan dibuat ini mengatur kecepatan motor yang disesuaikan dengan suhu pada proses pembalikan fermentasi kakao yang difungsikan sebagai pengaduk seperti halnya alat fermentasi konvensional sehingga menghasilkan suhu yang merata.

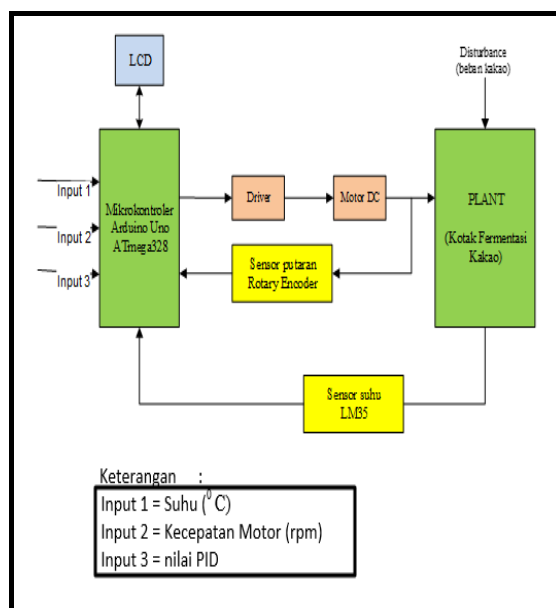
Pada penelitian alat fermentasi kakao otomatis ini akan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai kontroler otomatisnya dikarenakan memiliki fitur dan jumlah I/O yang sesuai dengan kebutuhan sistem.

## II. PERANCANGAN ALAT

Perancangan ini meliputi pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras meliputi perancangan mekanik alat fermentasi kakao, perancangan rangkaian catu daya, *driver* motor DC, LCD 16x2, mikrokontroler arduino uno, sensor suhu LM35, *push button*, dan komparator sensor *rotary encoder*. Perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan program pada *software* arduino IDE 1.5.8 beta.

### A. Diagram Blok Sistem

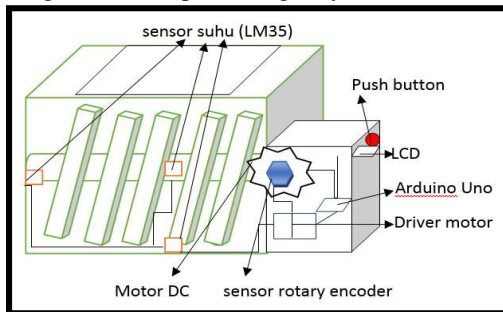
Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Blok Sistem

### B. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Alat fermentasi kakao otomatis ini dibuat menggunakan bahan non *electric* yang terdiri dari : triplek, partikel *wood*, kayu, paku, mur, baut, *bearing* dan engsel. Berikut perancangannya dalam Gambar 2.



Gambar 2 Perancangan Alat Fermentasi Kakao

### C. Catu Daya Sistem

Pada pembuatan alat ini membutuhkan 2 jenis besaran tegangan yaitu 12 volt untuk mengaktifkan rangkaian mikrokontroler arduino uno dan kipas pendingin pada IC *driver* motor, sedangkan sebagai penggerak motor DC dan *driver* motor menggunakan catu daya sebesar 32 volt.

Dalam pembuatan catu daya menggunakan jenis travo CT 3 ampere untuk catu daya 32 volt dan 500 mA untuk 12 volt. Gambar catu daya 12 volt dan 32 volt ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Catu Daya 32 volt dan 12 volt

### D. Driver Motor DC

Untuk *Driver* motor menggunakan *interface optocoupler* yang berfungsi untuk melindungi rangkaian dari lonjakan tegangan pada beban agar tidak mengganggu bagian pengolah data. Pada rangkaian *driver* terdapat kipas pendingin untuk menghindari *overheat* yang terhubung dengan catu daya 12 volt. Gambar rangkaian *driver* motor ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4 Driver Motor DC

### E. LCD 16x2

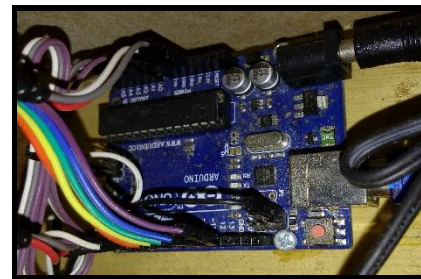
Pada rangkaian LCD 16x2 berfungsi untuk menampilkan data suhu pada T1,T2 dan T3, nilai PWM serta kecepatan putaran motor dengan satuan rpm. Gambar rangkaian LCD 16x2 ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5 LCD 16x2

### F. Mikrokontroler Arduino uno

Pada perancangan ini, menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengatur motor agar berputar pada saat suhu yang sudah ditentukan dan mengatur kecepatan motor. Rangkaian Arduino Uno ini terhubung dengan LCD 16x2, ketiga sensor suhu, *push button*, *driver* motor dan *rotary encoder*. Gambar rangkaian mikrokontroler Arduino Uno ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6 Catu Daya 32 volt dan 12 volt

Penggunaan pin *input/output* pada perancangan mikrokontroler arduino uno ini dapat dilihat dalam Tabel 1.

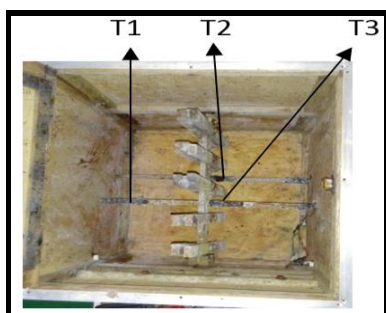
PIN	Fungsi
A0	Jalur masukan Sensor suhu LM35 (T1)
A1	Jalur masukan Sensor suhu LM35 (T2)
A2	Jalur masukan Sensor suhu LM35 (T3)
2	Jalur masukan Sensor <i>rotary encoder</i>
3	Jalur masukan <i>Driver</i> motor DC (transistor)
4	Jalur masukan <i>Push button</i>
5	Jalur masukan <i>Driver</i> motor DC ( <i>power mosfet</i> dan kipas)
6	Jalur masukan PWM
5v	Jalur masukan catu daya 5 V di arduino
GND	Jalur masukan <i>ground</i>
8	Jalur masukan LCD 16x2 (ke RS)
9	Jalur masukan LCD 16x2 (ke E)
10	Jalur masukan LCD 16x2 (ke D4)

11	Jalur masukan LCD 16x2 (ke D5)
12	Jalur masukan LCD 16x2 (ke D6)
13	Jalur masukan LCD 16x2 (ke D7)

Tabel 1 Fungsi Pin Arduino Uno pada Alat

### G. Sensor Suhu LM35

Rangkaian sensor suhu menggunakan jenis sensor suhu LM35 yang terpasang 3 buah didalam kotak fermentasi. Sensor suhu 1 atau T1 terletak disamping kiri kotak ,sensor suhu 2 atau T2 terletak ditengah kotak dan sensor suhu 3 atau T3 terletak dibawah kotak. Tujuan peletakkannya agar dapat memonitor suhu disetiap tempat berbeda sehingga memudahkan dalam menentukan suhu yang tepat pada proses pengadukan atau pembalikan. Gambar rangkaian sensor suhu LM35 ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7 Sensor Suhu LM35

### H. Push Button

*Push button* yang terpasang pada arduino PIN 4 bertujuan untuk tombol pemutar motor . Pada saat suhu sudah tercapai dan motor tidak berputar maka peran tombol *push button* sangat dibutuhkan. Gambar rangkaian *push button* ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8 Push Button

### I. Sensor Rotary Encoder

Pada sensor *rotary encoder* yang digunakan sudah terpasang langsung dengan motor DC dan sensor *rotary encoder* yang terdapat dalam perancangan ini menggunakan 7 lubang piringan. Gambar rangkaian komparator sensor *rotary encoder* ditunjukkan dalam Gambar 9.

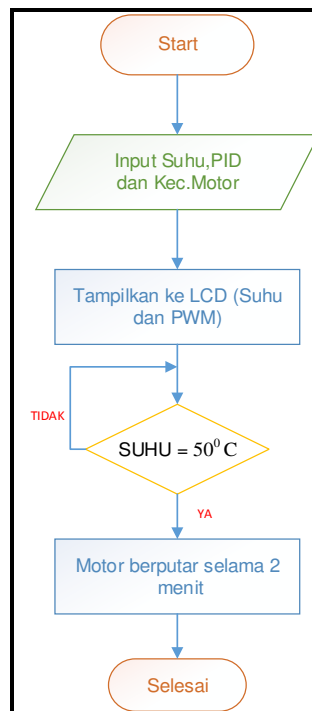


Gambar 9 Sensor Rotary Encoder

### J. Perancangan Perangkat Lunak

Pada alat ini program yang digunakan adalah arduino IDE 1.5.8 beta untuk memberikan perintah ke dalam arduino uno. Pengoperasian program ini menggunakan bahasa C++ kemudian di masukan ke dalam arduino uno sebagai *board controller*.

*Flowchart* perancangan perangkat lunak ditunjukkan dalam Gambar 10 berikut.



Gambar 10 Flowchart alat fermentasi kakao

## III. PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Pengujian ini meliputi: pengujian *driver* motor DC, pengujian motor DC, pengujian sensor suhu dan pengujian sistem secara keseluruhan. Tujuan dari dilakukannya pengujian adalah untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

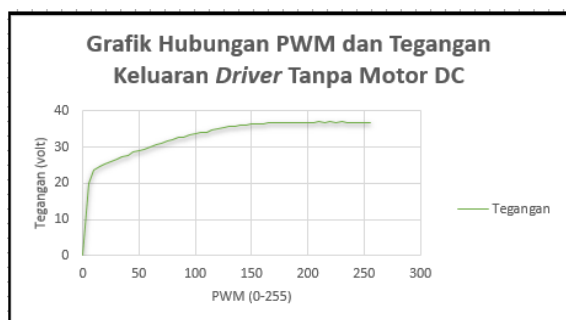
### A. Pengujian Driver Motor

Pengujian ini dilakukan dengan diberikan nilai PWM dari 0 - 255, pengujian ini dilakukan dengan 2 keadaan yaitu pengujian driver tanpa motor dan pengujian driver menggunakan motor. Pengujian ini bertujuan untuk Mengetahui hubungan antara PWM dengan tegangan keluaran *driver*. Tabel hasil pengujian *driver* tanpa motor dan dengan motor ditunjukkan dalam Tabel 2.

No.	PWM	Teg.tanpa motor (volt)	Teg.dengan motor (volt)
1	0	0	0
2	5	20	0
3	10	23.7	0
4	15	24.7	0.1
5	20	25.4	0.1
6	25	26	0.2
7	30	26.6	0.2
8	35	27.2	1.7
9	40	27.8	3.5
10	45	28.5	6
11	50	29	7
12	55	29.5	8
13	60	30	8
14	65	30.6	8
15	70	31.1	9
16	75	31.6	10
17	80	32	11
18	85	32.6	12
19	90	32.7	13
20	95	33.2	14
21	100	33.7	14
22	105	33.9	13.6
23	110	34.2	13
24	115	34.7	10
25	120	35	15
26	125	35.3	11
27	130	35.6	10
28	135	35.8	16
29	140	36	16
30	145	36.2	17
31	150	36.5	18
32	155	36.5	17
33	160	36.5	18
34	165	36.6	19
35	170	36.7	17
36	175	36.8	21
37	180	36.7	16
38	185	36.7	18
39	190	36.7	19
40	195	36.7	20
41	200	36.8	24
42	205	36.8	28
43	210	36.9	30
44	215	36.8	35
45	220	36.9	40
46	225	36.8	32
47	230	36.9	34
48	235	36.8	34
49	240	36.7	34
50	245	36.8	34
51	250	36.7	34
52	255	36.8	34

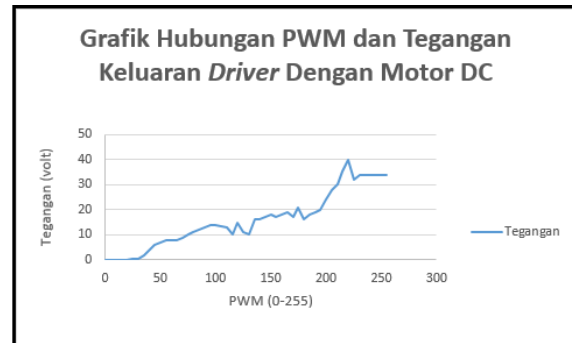
Tabel 2 Hasil Pengujian Sensor *Optocoupler*

Grafik hasil pengujian *driver* tanpa motor ditunjukkan dalam Gambar 11.

Gambar 11 Grafik Hubungan PWM dengan Tegangan Keluaran *Driver* Tanpa Motor

Dari Gambar 11 diketahui bahwa hubungan nilai PWM dengan tegangan berbanding lurus yaitu semakin besar nilai PWM maka semakin besar juga nilai besaran tegangan yang dihasilkan.

Grafik hasil pengujian *driver* menggunakan motor ditunjukkan dalam Gambar 12.

Gambar 12 Grafik Hubungan PWM dengan Tegangan Keluaran *Driver* Menggunakan Motor

Dari Gambar 12 diketahui bahwa nilai besaran tegangan keluaran menurun setelah menggunakan motor dan penurunan tersebut dapat dilihat pada awal – awal nilai PWM 0 sampai nilai PWM 210 yang sudah mencapai nilai besaran tegangan keluaran 30 volt tetapi terdapat satu kali lonjakan tegangan pada nilai PWM 220.

Pada pengujian tanpa menggunakan motor DC dan menggunakan motor DC tidak terjadi kebocoran tegangan yang ditunjukkan pada nilai PWM 0 dengan nilai besaran tegangan keluarannya juga 0 volt hal ini disebabkan karena dalam rangkaian ini digunakan *interface optocoupler* sehingga tidak terjadi kebocoran tegangan dari minimum sistem.

## B. Pengujian Motor DC

Pada pengujian motor DC bertujuan untuk mengetahui hubungan antara PWM dengan kecepatan motor DC tanpa menggunakan beban biji kakao dan dengan beban biji kakao dan mengetahui kekuatan motor DC terhadap beban biji kakao. Tabel hasil pengujian kecepatan motor DC tanpa beban biji kakao ditunjukkan dalam Tabel 3.

No.	PWM	Kec.Motor (rpm)	No.	PWM	Kec.Motor (rpm)	No.	PWM	Kec.Motor (rpm)
1	0	0	19	90	239.63	37	180	322.09
2	5	0	20	95	284.84	38	185	298.73
3	10	0	21	100	269.75	39	190	319.14
4	15	0	22	105	278.69	40	195	302.17
5	20	0	23	110	285.04	41	200	290.1
6	25	0	24	115	296.77	42	205	301.79
7	30	0	25	120	289.32	43	210	293.32
8	35	0	26	125	302.95	44	215	298.9
9	40	0	27	130	290.55	45	220	294.48
10	45	0	28	135	316.95	46	225	310.44
11	50	0	29	140	294.74	47	230	304.7
12	55	125.62	30	145	293.3	48	235	297.75
13	60	164.66	31	150	288.66	49	240	304.24
14	65	196.1	32	155	335.64	50	245	309.89
15	70	217.09	33	160	323.67	51	250	304.5
16	75	214.23	34	165	305.9	52	255	310.09
17	80	241.08	35	170	294.47			
18	85	234.2	36	175	339.99			

Tabel 3 Hasil Pengujian Kecepatan Motor DC Tanpa Beban Biji Kakao



Dari Tabel 3 didapatkan grafik hasil pengujian kecepatan motor DC tanpa beban biji kakao yang ditunjukkan dalam Gambar 13.



Gambar 13 Grafik Hubungan PWM dengan Kecepatan Motor Tanpa Beban Biji Kakao

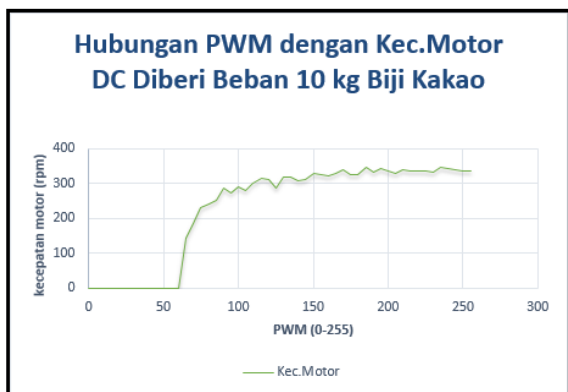
Dari Tabel 3 dan Gambar 13 diketahui bahwa nilai kecepatan motor mulai muncul setelah nilai PWM 50 pada pengujian tanpa beban biji kakao.

Tabel hasil pengujian kecepatan motor DC dengan beban biji kakao 10 kg ditunjukkan dalam Tabel 4.

No.	PWM	Kec.Motor (rpm)	No.	PWM	Kec.Motor (rpm)	No.	PWM	Kec.Motor (rpm)
1	0	0	19	90	287.2	37	180	325.77
2	5	0	20	95	273.49	38	185	346.05
3	10	0	21	100	290.89	39	190	334.14
4	15	0	22	105	281.42	40	195	344.42
5	20	0	23	110	302.81	41	200	335.35
6	25	0	24	115	316.08	42	205	330.33
7	30	0	25	120	311.9	43	210	338.39
8	35	0	26	125	287.31	44	215	335.21
9	40	0	27	130	317.98	45	220	335.71
10	45	0	28	135	319.26	46	225	337.2
11	50	0	29	140	308.82	47	230	334.05
12	55	0	30	145	311.37	48	235	347.51
13	60	0	31	150	329.92	49	240	343.25
14	65	143.31	32	155	324.36	50	245	338.95
15	70	185.45	33	160	322.08	51	250	337.26
16	75	231.49	34	165	330.77	52	255	336.54
17	80	240.4	35	170	338.6			
18	85	252.25	36	175	324.48			

Tabel 4 Hasil Pengujian Kecepatan Motor DC dengan Beban Biji Kakao 10 kg

Dari Tabel 4 didapatkan grafik hasil pengujian kecepatan motor DC dengan beban biji kakao 10 kg yang ditunjukkan dalam Gambar 14.



Gambar 14 Grafik Hubungan PWM dengan Kecepatan Motor DC Menggunakan Beban Biji Kakao 10 kg.

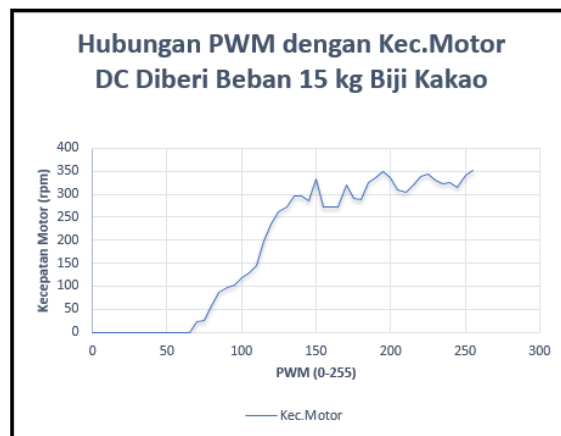
Dari Tabel 4 dan Gambar 14 diketahui bahwa nilai kecepatan motor mulai muncul setelah nilai PWM 60 dan mengalami peningkatan kecepatan motor pada pengujian dengan beban biji kakao 10 kg saat PWM 150 - 255.

Tabel hasil pengujian kecepatan motor DC dengan beban biji kakao 15 kg ditunjukkan dalam Tabel 5.

No.	PWM	Kec.Motor (rpm)	No.	PWM	Kec.Motor (rpm)	No.	PWM	Kec.Motor (rpm)
1	0	0	19	90	96.2	37	180	287.98
2	5	0	20	95	103.1	38	185	324.04
3	10	0	21	100	117.5	39	190	336.01
4	15	0	22	105	130	40	195	348.64
5	20	0	23	110	143.57	41	200	335.5
6	25	0	24	115	199.1	42	205	309.84
7	30	0	25	120	235.84	43	210	304.37
8	35	0	26	125	262.45	44	215	319.85
9	40	0	27	130	272.38	45	220	339.73
10	45	0	28	135	295.38	46	225	344.97
11	50	0	29	140	296.14	47	230	330.58
12	55	0	30	145	285.54	48	235	323.62
13	60	0	31	150	332.33	49	240	325.78
14	65	0	32	155	272.82	50	245	313.63
15	70	23.6	33	160	272.4	51	250	342.26
16	75	25	34	165	270.93	52	255	351.23
17	80	56.4	35	170	320.81			
18	85	87.55	36	175	291.44			

Tabel 5 Hasil Pengujian Kecepatan Motor DC dengan Beban Biji Kakao 15 kg

Dari Tabel 5 didapatkan grafik hasil pengujian kecepatan motor DC dengan beban biji kakao 15 kg yang ditunjukkan dalam Gambar 15.



Gambar 15 Grafik Hubungan PWM dengan Kecepatan Motor DC Menggunakan Beban Biji Kakao 15 kg.

Dari Tabel 5 dan Gambar 15 diketahui bahwa nilai kecepatan motor mulai muncul setelah nilai PWM 65 dan mengalami peningkatan kecepatan motor pada pengujian dengan beban biji kakao 15 kg saat PWM 185 - 255.

- Hasil Pengujian dengan Beban Lebih dari 15 kg Biji Kakao

Setelah melakukan pengujian dengan beban biji kakao lebih dari 15 kg motor DC tidak dapat berputar sehingga pengujian pada alat fermentasi ini hanya dibatasi untuk pengukuran berat biji kakao sampai 15 kg.

### C. Pengujian Suhu

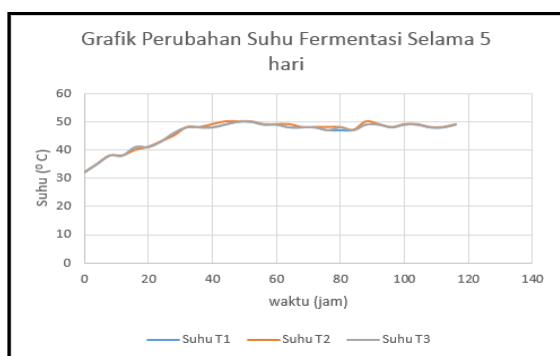
Pada pengujian suhu dilakukan dengan mencatat nilai suhu T1, T2 dan T3 yang ditampilkan pada LCD setiap 4 jam sekali selama 5 hari. Tujuan pengujian untuk mengetahui hubungan dan respon suhu pada proses fermentasi biji kakao terhadap waktu fermentasi biji kakao pada alat.

Tabel hasil pengujian suhu fermentasi biji kakao pada alat fermentasi kakao ditunjukkan dalam Tabel 6.

No.	Jam	Suhu T1(°C)	Suhu T2(°C)	Suhu T3(°C)
1	0	32	32	32
2	4	35	35	35
3	8	38	38	38
4	12	38	38	38
5	16	41	40	41
6	20	41	41	41
7	24	43	43	43
8	28	46	45	46
9	32	48	48	48
10	36	48	48	48
11	40	48	49	48
12	44	49	50	49
13	48	50	50	50
14	52	50	50	50
15	56	49	49	49
16	60	49	49	49
17	64	48	49	48
18	68	48	48	48
19	72	48	48	48
20	76	47	48	47
21	80	47	48	48
22	84	47	47	47
23	88	49	50	49
24	92	49	49	49
25	96	48	48	48
26	100	49	49	49
27	104	49	49	49
28	108	48	48	48
29	112	48	48	48
30	116	49	49	49
31	120	49	49	49

Tabel 6 Hasil Pengujian Suhu Fermentasi Kakao

Dari Tabel 6 didapatkan grafik hasil pengujian suhu fermentasi biji kakao pada alat fermentasi biji kakao yang ditunjukkan dalam Gambar 16.



Gambar 16 Grafik Hubungan Suhu Fermentasi terhadap Waktu

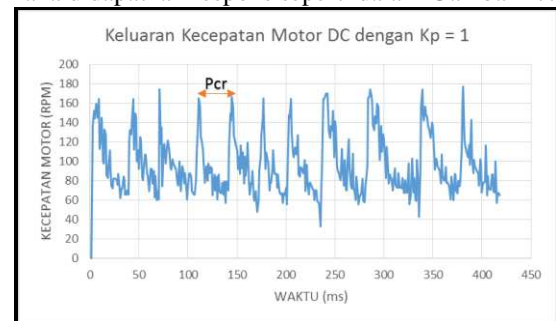
Dalam Tabel 6 dan Gambar 16 diketahui bahwa suhu fermentasi kakao terus meningkat setelah 4 jam hingga mencapai suhu 50 °C pada 48 jam, setelah menetap 50 °C pada 52 jam suhu akan kembali naik turun kisaran 49 °C - 47 °C dihitung jam berikutnya.

### D. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Untuk pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keberhasilan dari keseluruhan sistem yang sudah dirancang. Pada pengujian ini semua sistem digabungkan menjadi satu kesatuan dan menggunakan kontrol PID dengan metode kedua dari teori Ziegler-Nichols sebagai sistem kontrolnya. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kontrol sistem terhadap alat.

Langkah pertama dalam pengujian ini yaitu menentukan nilai parameter kontrol PID ( $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ ) dengan cara memberikan penguatan proporsional dari nol hingga alat dapat memberikan respons berupa osilasi berkesinambungan, dengan penguatan integral nol dan penguatan diferensial nol. Lalu buat grafik yang menyatakan hubungan antara kecepatan putaran motor dengan waktu.

Dengan menggunakan penguatan  $K_p$  sebesar 1 maka didapatkan respons seperti dalam Gambar 17.



Gambar 17 Grafik Kecepatan Motor Terhadap waktu

Menentukan nilai  $K_{cr}$  dan  $P_{cr}$  yaitu  $K_{cr}$  merupakan nilai penguatan kritis dan  $P_{cr}$  merupakan nilai periode (T).

Respons sistem menampilkan data setiap 0,1 sekon, maka dari grafik diketahui bahwa nilai

$$\begin{aligned}
 P_{cr} &= \text{jumlah data} \times \text{waktu antar data} \\
 &= 37 \times 0,1 \\
 &= 3,7
 \end{aligned}$$

dan  $K_{cr} = 1$

Menentukan parameter kontroler PID berdasarkan metode kedua Ziegler-Nichols (metode loop tertutup) maka akan didapatkan nilai sebagai berikut :

$$K_p = 0,60 \times K_{cr} = 0,60 \times 1 = 0,6$$

$$T_i = 0,5 \times P_{cr} = 0,5 \times 3,7 = 1,85$$

$$T_d = 0,125 \times P_{cr} = 0,125 \times 3,7 = 0,4625$$

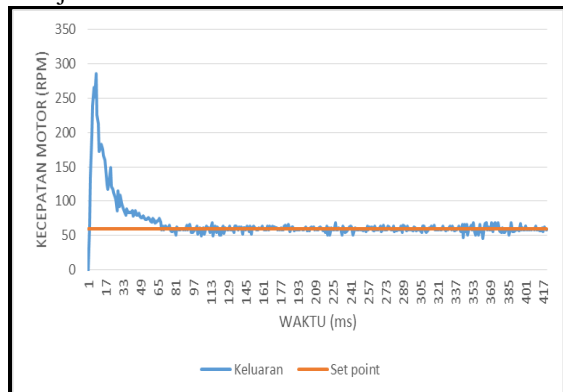
Nilai – nilai penguatan  $K_i$  dan  $K_d$  dapat dicari dengan :

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0,6}{1,85} = 0,324$$

$$K_d = K_p \times T_d = 0,6 \times 0,4625 = 0,2775$$

Setelah mendapatkan nilai parameter PID maka dilakukan pengujian pada beban alat fermentasi kakao dengan memasukkan nilai parameter PID ( $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ ) dengan kecepatan motor DC 60 rpm.

Pada pengujian PID dengan nilai  $K_p=0,6$ ,  $K_i=0,324$  dan  $K_d=0,2775$  pada alat fermentasi kakao ditunjukkan dalam Gambar 18.



**Gambar 18** Hasil Pengujian Kecepatan Motor DC dengan PID tanpa Beban

Dari Gambar 5.11, diketahui bahwa hasil respon memiliki % error sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ Ess} &= \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N \left| \frac{Pv(i) - \text{setpoint}}{\text{setpoint}} \right| \times 100 \% \\ &= \frac{1}{353} \times 15,2 \times 100\% \\ &= 4,3\%. \end{aligned}$$

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Mikrokontroler Arduino Uno pada alat fermentasi kakao otomatis ini dapat :
  - Menghitung dan mengirim kecepatan motor DC sesuai dengan masukan dari sensor *rotary encoder*.
  - Menghitung dan mengirim nilai suhu sesuai dengan masukan dari ketiga sensor suhu LM35.
  - Mengontrol kecepatan motor DC pada beban kakao maksimal 15 kg yang disesuaikan dengan suhu pembalikan atau pengadukan yaitu 50 °C selama 2 menit.
2. Penggunaan kontroler PID pada alat fermentasi kakao otomatis melalui metode kedua dari teori Ziegler-Nichols menghasilkan parameter PID ( $K_p=0,6$ ,  $K_i=0,324$  dan  $K_d=0,2775$ ) pada *set point* kecepatan motor DC 60 rpm dan memiliki *error stady state* sebesar 4,3% serta mengalami *overshoot* kurang dari 70 ms.

### B. Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah:

1. Penggunaan motor yang lebih kuat selain motor DC yaitu menggunakan motor AC.
2. Pengujian sistem kontrol kecepatan motor menggunakan beban kakao untuk mendapatkan respon sistem kontrol alat terhadap beban kakao.
3. Penggunaan piringan sensor *rotary encoder* sebaiknya memiliki lebih banyak lubang sehingga data yang didapatkan lebih akurat.
4. Penentuan parameter PID menggunakan metode lain selain Ziegler-Nichols untuk mendapatkan respon yang lebih bagus.
5. Untuk hasil fermentasi dari alat ini sebaiknya di uji ke lembaga yang sudah berpengalaman menangani fermentasi kakao.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Arduino.cc, Arduino uno datasheet.*
- [2] *Ditjenbun.pertanian.go.id*
- [3] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- [4] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta. Penerbit Erlangga.